

0- 778728

На правах рукописи

А. Колобанов

КОЛОБАНОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОЦИНКОВАННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ЦЕХОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2009

Работа выполнена на кафедре «Строительное производство» ГОУ ВПО
«Липецкий государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Михайлов Виталий Витальевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Якупов Нух Махмутович

кандидат технических наук, доцент
Манапов Асхат Зиннатович

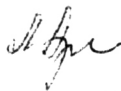
Ведущая организация: ОАО «Оргтехстрой», г. Липецк

Защита состоится «6» октября 2009 г. в 13.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном
архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул.
Зеленая, 1, ауд. 3-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО
«Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Автореферат разослан «28» августа 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Л.А. Абдрахманова

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000547990

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. С ростом объема используемого металла в мире увеличиваются и общие потери металла от коррозии, достигая таких масштабов, сравнимых с затратами на развитие крупнейших отраслей мировой промышленности. По имеющимся данным, в США общий ущерб от коррозии оценивался несколько лет назад приблизительно в 100 миллиардов долларов в год. Подсчитано, что вследствие коррозионных разрушений, ежегодно выходят из строя конструкции, в которых содержится столько же металла, сколько дает 1/3 мощностей металлургической промышленности. До 2/3 металла возвращаются в металлооборот путем переплавки, а 1/3, то есть около 10–15% общего объема, ежегодно производимого металла, составляет невозвратимые потери. Поэтому считается, что «каждая 6-я домна металлургической промышленности работает на восполнение коррозионных потерь». Поскольку большая часть металлургических мощностей связана с возмещением коррозионных затрат, то академик Я.М. Колотыркин в свое время называл защиту от коррозии «невидимой металлургией».

Особенно актуально это для металлургических прокатных производств. В состав современной технологической цепи по прокату листовой стали входят как цеха горячего, так и холодного проката, которые являются основными цехами современного металлургического производства, от которых зависит рентабельность всего предприятия в целом.

Защита металлических конструкций покрытия от коррозионного воздействия особенно актуальна именно в цехах холодного проката. Технология травления в современных прокатных производствах предусматривает применение соляной кислоты, которая в процессе травления переходит в газообразный хлороводород, негативно влияющий на состояние эксплуатирующихся металлических конструкций.

Один из основных способов повышения долговечности металлических конструкций для данного вида производств в последние годы - это нанесение на металл защитных покрытий. Наиболее распространенным методом является нанесение на конструкцию защитной пленки из цинкового покрытия. В настоящее время известны и широко используются за рубежом профилированные настилы, оцинкованные фермы, колонны, связи и т.д.

При многочисленных исследованиях в области антикоррозионной защиты для строительных конструкций исследования реального поведения металлических конструкций покрытия в цехах холодного проката, во многом, сильно разнятся в зависимости от условий эксплуатации, а исследования поведения оцинкованных конструкций и вовсе отсутствуют. Исследования в области коррозионного разрушения цинка, проведенные авторами ряда работ как в нашей стране, так и за рубежом, а также современные исследования, проводимые «Эксперт-корп-МИСиС», BeckerIndustrial Coatings, Akzo Nobel, ЕССО и многими другими, не отражают условия действительной работы оцинкованных конструкций покрытия. Поэтому, использование уже имеющихся методик и механизмов для оценки коррозионного поведения

оцинкованных конструкций покрытия в данных условиях является неприменимым.

Это приводит к необходимости создания механизма, позволяющего, по результатам визуального и инструментального обследования, оценить техническое состояние и ресурс оцинкованных конструкций покрытия, осуществить прогноз изменения этого состояния во времени и установить сроки очередного осмотра или замены конструктивного элемента, что является важным для совершенствования системы эксплуатации оцинкованных конструкций покрытия, работающих в условиях агрессивной среды цехов холодного проката.

Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью создания механизма, позволяющего с достоверностью оценить ресурс оцинкованных конструкций покрытия.

Цель работы: разработка методики оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах.

Достижение поставленной цели определяется решением следующих задач:

1. Изучить и оценить влияние агрессивных технологических факторов на свойства несущих кровельных ограждающих конструкций покрытия зданий прокатного производства.

2. В лабораторных и натурных условиях изучить и определить скорость коррозии оцинкованных элементов конструкций покрытия и ее изменение во времени, а также влияние механических повреждений на скорость коррозионного разрушения.

3. Разработать математическую модель коррозии оцинкованных конструктивных элементов покрытия в условиях эксплуатации действующих производств.

4. Исследовать влияние продолжительности и условий эксплуатации на повреждаемость профилированного листа покрытия по результатам натурных обследований.

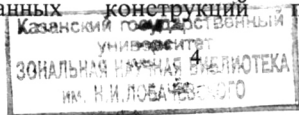
5. Разработать методику оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса.

Объект исследования: техническое состояние конструкций покрытия зданий металлургических производств холодного проката ОАО «НЛМК» и методика его оценки.

Предмет исследования: усовершенствование методики оценки технического состояния оцинкованных конструкций покрытия, работающих в агрессивных средах зданий промышленных производств металлургического комплекса для создания алгоритмов, методик и моделей.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- впервые, в результате проведения технического освидетельствования, выявлены и классифицированы факторы, влияющие на состояние оцинкованных конструкций покрытия, работающих в



хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса;

- впервые осуществлено систематическое исследование распределения зависимости скорости коррозии оцинкованных элементов конструкций покрытия во времени с учетом особенностей различных технологических участков;

- систематизированы данные о влиянии механического повреждения цинкового слоя элементов покрытия на кинетику развития коррозионного процесса на различных технологических участках и подтверждена их хорошая корреляция с результатами проведения технического освидетельствования за длительный промежуток времени;

- на основе совокупности результатов лабораторных испытаний и длительных промышленных испытаний предложена математическая модель зависимости скорости коррозии от времени;

- впервые разработана математическая зависимость, отражающая механизм разрушения цинкового слоя оцинкованных элементов конструкций от времени, позволяющая, зная данные о начальной толщине цинкового слоя и начальной скорости коррозии, рассчитать его долговечность;

- впервые разработан алгоритм и методика оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса;

Практическая значимость. Разработанный метод позволяет, по результатам визуального и инструментального обследования, оценить техническое состояние конструкций покрытия, а также осуществить прогноз изменения этого состояния во времени и определить пути оптимизации последующих эксплуатационных расходов, что является важным в условиях совершенствования системы эксплуатации оцинкованных конструкций покрытия производственных зданий металлургического комплекса, работающих в хлороводородсодержащих средах. Кроме того, по мере накопления информационной базы, проводится оценка и корректировка проектных решений на стадии проектирования.

Внедрение результатов. Результаты работы использовались при проведении обследований и оценке эксплуатационной пригодности покрытий на объектах листопрокатного производства ОАО «НЛМК».

Апробация работы. Результаты проведенных исследований доложены на: международной научно-практической конференции «Строительство 2005» (г. Ростов, 2005 г.); международной научно-технической конференции «Концептуальные вопросы современного градостроительства» (г. Воронеж, 2007 г.), международной научно-практической конференции «Композиционные строительные материалы, теория и практика» (г. Пенза, 2007 г.); международном конгрессе «Наука и инновация в строительстве» (г. Воронеж, 2008 г.); VIII международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика» (г. Пенза, 2008 г.).

На защиту выносятся:

- классификация факторов и степень их влияния на техническое состояние конструкций покрытия зданий металлургического комплекса,

работающих в хлороводородсодержащих средах;

- распределение скорости коррозии оцинкованных элементов конструкций покрытия на разных участках цеха и уравнение, позволяющее определить скорость коррозии в зависимости от продолжительности эксплуатации;

- классификация характерных дефектов и повреждений профилированного листа покрытия зданий металлургических производств;

- математическая зависимость, отражающая механизм разрушения цинкового слоя оцинкованных элементов конструкций от времени, позволяющая, зная данные о начальной толщине цинкового слоя и начальной скорости коррозии, рассчитать его долговечность;

- методика и алгоритм оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащей среде зданий металлургических производств.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 10 печатных работах, из них 2 опубликованы в сборниках, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, шесть разделов, основные выводы, список использованных источников и приложения. Работа содержит 183 страницы, в т. ч. 121 страницу машинописного текста, 11 таблиц, 63 рисунка, список литературы из 158 наименований и три приложения.

Автор выражает благодарность научному консультанту кандидату химических наук, доценту Салтыкову С.Н., а также Третьяковой С.В. за активное участие и помощь при решении проблем и задач настоящей работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, дается характеристика научной новизны, достоверности и ее практическая ценность.

В первой главе проведен анализ исследований технического состояния прокатных производств металлургического комплекса. Отражены проблемы эксплуатации зданий и сооружений, задачи обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности. Проанализированы факторы, влияющие на долговечность отдельных элементов и здания в целом.

Проведена оценка существующих подходов к определению эксплуатационной надежности, долговечности и повреждаемости строительных конструкций. Рассматриваемые подходы базируются на исследованиях В.В. Болотина, Д.М. Бойко, А.И. Кикина, В.Н. Валя, Б.М. Колотилкина, А.Р. Ржаницина, А.Г. Ройтмана и многих других.

Отмечено, что покрытия производственных зданий являются одним из наиболее повреждаемых и разрушаемых элементов промышленных цехов металлургического комплекса, о чем свидетельствует как общая статистика, так и данные об авариях за последние годы. Наряду с механическими повреждениями элементов покрытий, значительная часть разрушений связана с коррозионным износом, вследствие воздействия агрессивной технологической

среды производства.

Проведен анализ работ, связанных с вопросом коррозионного износа строительных конструкций, с целью систематизации и адаптации результата к несущим и ограждающим конструкциям покрытия. Исследованиям в данной области посвящены работы таких авторов, как Ю.Л. Вольберг, А.И. Голубев, В.К. Городецкий, М.И. Корякин, А.С. Коряков, Н.И. Кошин, Н.Б. Кудайбергенов, Н.А. Прищепова, В.В. Филиппов, И.А. Фишман, Л.А. Эткин и многих других.

Во второй главе представлены используемые в работе методики, позволяющие определять коррозионную стойкость материалов в натуральных условиях, а также в условиях, моделирующих агрессивное воздействие внешней среды и производственных факторов.

Анализ условий эксплуатации конструктивных элементов покрытий зданий листопрокатного производства показал, что коррозионное разрушение конструкций развивается как под действием естественной влажности промышленной атмосферы цеха, содержащей газообразный хлороводород, так и под действием капельного увлажнения поверхности конструкции, не связанного с температурно-влажностными характеристиками воздуха. Кроме того, механические повреждения цинкового покрытия оцинкованных элементов конструкций приводят к резкому увеличению скорости коррозионного разрушения.

Чтобы учесть перечисленные факторы, были проведены лабораторные электрохимические испытания, которые позволили качественно оценить влияние механического повреждения цинкового покрытия на скорость коррозионного разрушения.

Для более точной оценки скорости коррозии в реальных условиях применяли метод стеновых испытаний, который заключался в следующем.

Образцы, в виде пластин с царапиной и без нее, взвешивали и закрепляли в стендах специальной конструкции, которые размещали на осветительных галереях в различных отделениях цехов ПХПП (Производство Холодного Проката и Покровий) и ПДС (Производство Динамной Стали) ОАО «НЛМК».

На рис. 1 показан способ крепления стенда к конструкции покрытия. Методика стеновых испытаний состояла в том, что через некоторые промежутки времени из стенов вынимали по два образца (с царапиной и без нее), а стенды размещали на прежнем месте. С поверхности образцов химически удаляли продукты коррозии путем травления в нагретом до 60-80°C растворе 10% NH_4Cl с последующим полосканием и очисткой. Далее образцы погружали на 15-20 с. в кипящий раствор, содержащий 5% хромового ангидрида и 1% нитрита серебра. После каждого цикла образцы взвешивали.

По результатам обработки данных определяли начальную скорость коррозии цинкового слоя металла в производственных условиях. Оптимальная продолжительность стеновых испытаний в данной работе - 275 суток. Максимальная продолжительность составила - 641 сутки.

В третьей главе проведено исследование технического состояния конструкций покрытия на примере оцинкованного профилированного листа.

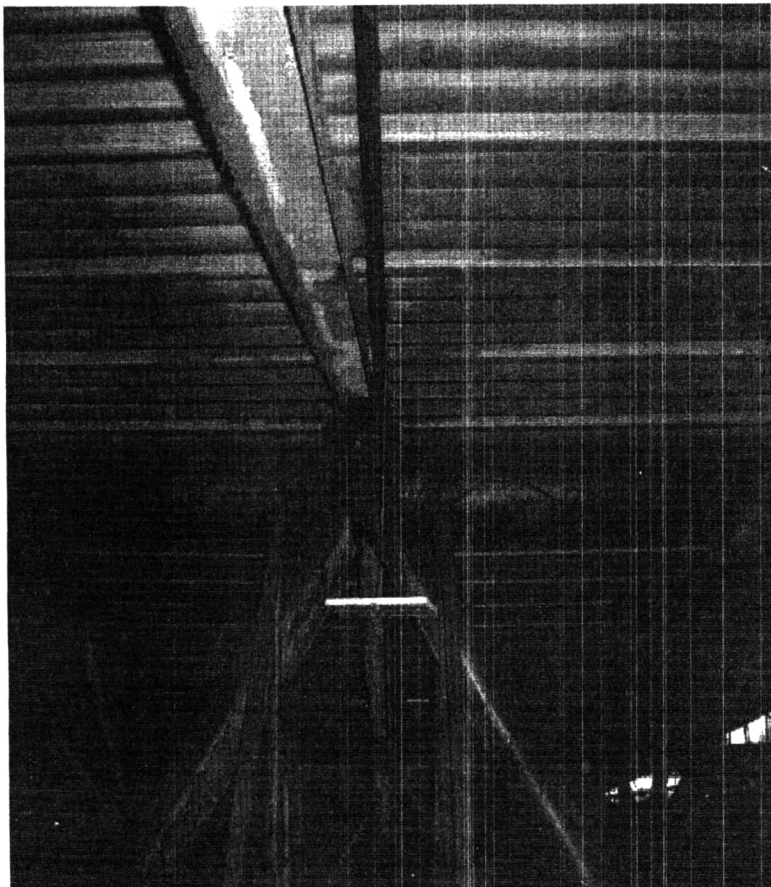


Рис. 1 - Размещение стенда на уровне конструкций покрытия

Было установлено, что более 90% общей площади цехов холодного проката ПХПП и ПДС ОАО «НЛМК» смонтировано с применением профилированного настила. Для выявления характерных дефектов и повреждений профилированного листа покрытия и их последующей классификации, а также для установления зависимостей их появления от различных параметров, проводилось техническое освидетельствование состояния конструкций покрытия с последующим анализом и статистической обработкой результатов освидетельствования.

Нами изучалось состояние конструкций покрытия как на участках с повышенным газовыделением и влажностью, так и на участках с нормальным режимом эксплуатации. Результаты были систематизированы и сведены в таблицы (табл. 1) и гистограммы. Сводная гистограмма результатов обследования для цеха ПХПП представлена на рис. 2.

Характерные дефекты и повреждения профилированного листа покрытия в цехах холодного проката

Таблица 1

№ п/п	Характерные дефекты и повреждения профилированного листа	Причины и факторы возникновения дефекта	Критерий оценки в соответствии с СП-13-102-2003	Выполняемые работы при данном дефекте	Процентное содержание от общего числа дефектов $\bar{x}, \%$	Доверительный интервал $\pm \Delta x$ с доверительной вероятностью 0,95, %
1	Прогиб профлиста от 80-200 мм	Низкий уровень выполнения строительно-монтажных работ	НЕДОПУСТИМОЕ СОСТОЯНИЕ	Полная замена листа	1,50	0,07
2	Местное смятие гофр и прогиб от 10 до 80 мм		Ограниченно-работоспособное состояние	Замена участков листа с дефектом	1,50	0,08
3	Вырезы в полках и стенках		Ограниченно-работоспособное состояние	Замена участков листа с дефектом	0,20	0,01
4	Некачественно выполненные стыки листа между собой		Ограниченно-работоспособное состояние	-	1,60	0,08
5	Некачественная укладка мягкого кровельного ковра		Ограниченно-работоспособное состояние	-	3,20	0,16
6	Механические разрушения защитного Zn-покрытия профилированного листа		Работоспособное состояние	-	4,00	0,20
7	Поверхностная коррозия легкой и средней степени	Воздействие агрессивной внутрицеховой газовой среды	Ограниченно-работоспособное состояние	Наблюдение за конструкцией с последующей ее заменой	15,00	0,75
8	Сквозная коррозия, распределенная в середине пролета листа с протяженностью поражения 10-100 мм ²		НЕДОПУСТИМОЕ СОСТОЯНИЕ	Замена листа	27,00	1,35
9	Сквозная коррозия, распределенная по краям листа с протяженностью поражения 10-100 мм ²		Ограниченно-работоспособное состояние	Наблюдение за конструкцией с последующей ее заменой	6,00	0,30
10	Равномерный коррозионный износ с потерей более 25% площади поперечного сечения		НЕДОПУСТИМОЕ СОСТОЯНИЕ	Замена листа	40,00	1,98
11	Из п. 8, 9 и 10 утончение полки профлиста вследствие коррозии		Ограниченно-работоспособное состояние	-//-	79,00% из всей обследуемой выборки	3,95
12	Из п. 8, 9 и 10 утончение стенки профлиста вследствие коррозии		НЕДОПУСТИМОЕ СОСТОЯНИЕ	-//-	21,00% из всей обследуемой выборки	1,05

Анализируя результаты табл. 1, можно сделать вывод, что наибольший количественный процент всей выборки 40,00% приходится на равномерный коррозионный износ, распределенный по всей поверхности профилированного листа.

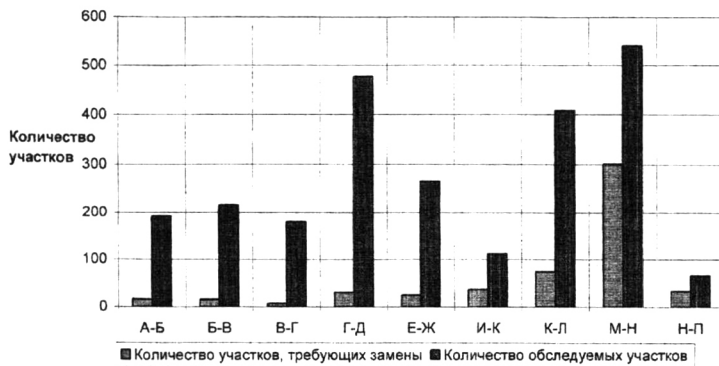


Рис. 2 - Сводная гистограмма сравнения обследуемых участков профилированного листа по всему зданию цеха ПХПП и участков листа, требующих замены

Из гистограммы видно, что наибольшая картина коррозионного разрушения наблюдается в пролетах «К-Л», «М-Н», «Н-П» на участках травильного и прокатного отделений. По мере удаления от этих участков, наблюдается значительное уменьшение коррозионного износа.

Анализ статистических данных о повреждаемости профилированного листа подтвердил предположение о том, что основным повреждающим фактором для конструкций покрытия, эксплуатирующихся в хлороводородсодержащих средах, является равномерный коррозионный износ.

В четвертой главе проведено исследование влияния коррозионного воздействия среды на техническое состояние оцинкованных конструкций производственных зданий, работающих в хлороводородсодержащих средах.

На основании проведения стендовых испытаний получена начальная скорость коррозии металла K_0 для цеха ПХПП, которая составляет $7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Анализируя характер распределения коррозионных повреждений на образцах металла, экспонированных на различных участках цеха, необходимо отметить, что наибольшая скорость коррозии наблюдается на входе и выходе из непрерывно-травильного агрегата, а наименьшая – на участке листоотделки. Результаты стендовых испытаний теоретической и практической скорости коррозии с поврежденным цинковым покрытием (царапиной) и без него для цеха ПХПП приведены в табл. 2 и на гистограммах (рис. 3-4).

Из табл. 2 видно, что значение начальной скорости коррозии, найденное на участке листоотделки в цехе ПХПП и равное $7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$, можно считать фоновым, то есть отвечающим постоянным потерям металла в условиях отсутствия влияния технологических факторов цеха.

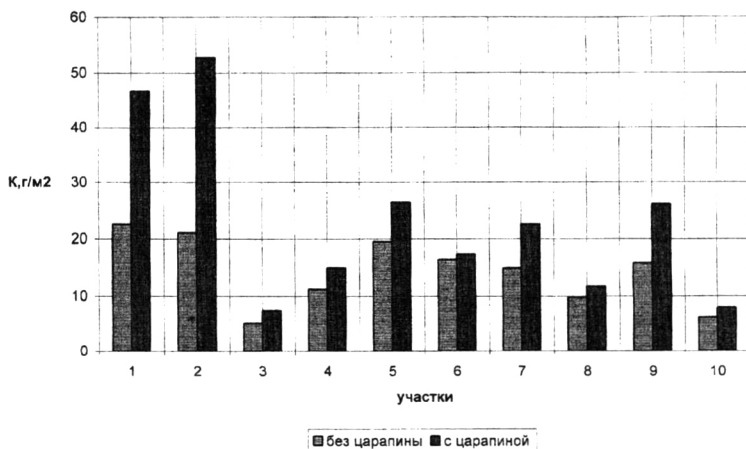


Рис. 3 - Гистограмма сравнения практической скорости коррозии образцов с царапиной и без в атмосфере цеха ПХПП, построенная по результатам стендовых испытаний за 14-месячный период:

1- вход в НТА; 2 - выход из НТА; 3 - отделение листоотделки № 1; 4 - отделение АНО и АГЦ; 5 - склад травленных рулонов; 6 – территория прокатного отделения; 7 - склад травленных рулонов; 8 - территория машинных отделений; 9 - стан «2030»; 10 - отделение листоотделки № 2

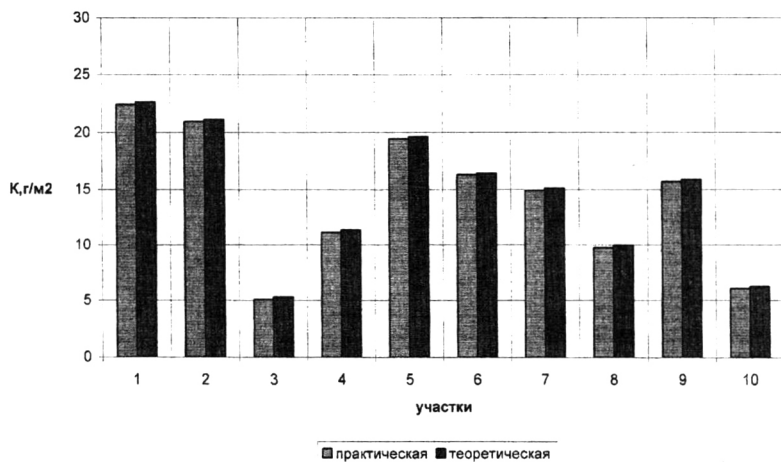


Рис. 4 - Гистограмма сравнения теоретической и практической скорости коррозии образцов без царапины в атмосфере цеха ПХПП, построенная по результатам стендовых испытаний за 14-месячный период:

1- вход в НТА; 2 - выход из НТА; 3 - отделение листоотделки № 1; 4 - отделение АНО и АГЦ; 5 - склад травленных рулонов; 6 – территория прокатного отделения; 7 - склад травленных рулонов; 8 - территория машинных отделений; 9 - стан «2030»; 10 - отделение листоотделки № 2

№ п/п	Территория цеха ПХПП	Результаты стендовых испытаний цинкового слоя без царапины			Результаты стендовых испытаний цинкового слоя с царапиной		
		Кпрак, г/м ²	Ктеор, г/м ²	К ₀ , г/м ² год	Кпрак, г/м ²	Ктеор, г/м ²	К ₀ , г/м ² год
1	Травильное отделение (вход в НТА)	22,54	22,65	29,500	46,57	46,64	62,000
2	Травильное отделение (выход из НТА)	21,06	21,15	30,000	52,75	52,83	69,000
3	Отделение листоотделки № 1	5,17	5,29	7,000	7,45	7,52	13,000
4	Термическое отделение (агрегат АНО и АГЦ)	11,24	11,33	15,000	15,05	15,14	22,000
5	Травильное отделение (склад травленных рулонов)	19,55	19,64	26,000	26,35	26,43	35,000
6	Прокатное отделение	16,39	16,42	22,500	17,29	17,37	24,800
7	Травильное отделение (склад травленных рулонов)	15,00	15,10	20,000	22,57	22,65	31,000
8	Территория машинных отделений	9,85	9,96	13,000	11,69	11,77	15,500
9	Прокатное отделение (пятikleтовой стан «2030»)	15,79	15,86	21,000	26,06	26,15	34,600
10	Отделение листоотделки № 2	6,19	6,26	8,300	7,86	7,95	10,400

Анализ характерных математических моделей развития коррозионного процесса позволил сделать вывод, что для описания зависимости скорости атмосферной коррозии K от времени в производственных условиях можно использовать уравнение атмосферной скорости коррозии, применяемое ранее Ву Дин Вуй, Михайловым А.А., Михайловским Ю.Н.

$$K = \frac{K_0}{1 + \alpha t^\beta}, \quad (1)$$

где K_0 – начальная скорость коррозии; t – время эксплуатации конструкций.

Понятно, что для использования этой модели необходимо знать не только величину начальной скорости коррозии K_0 , но и коэффициенты α и β .

В настоящей работе это осуществлялось в два этапа:

- *первое приближение* - расчет и сравнение величины $K_{теор}$ для различных значений α и β при постоянном значении K_0 со значением скорости коррозии, полученной из результатов стендовых испытаний;

- *второе приближение* - построение и аппроксимация функциональной зависимости скорости коррозии от времени, полученной из результатов стендовых испытаний, с учетом коэффициентов, полученных при первом приближении.

Исходя из полученных результатов, а также из результатов стендовых испытаний, было принято $\alpha = 0,3$, а величина $\beta = 0,5$.

Использование установленных нами зависимостей позволяет рассчитать прогнозируемое развитие атмосферной коррозии на различных участках цеха.

В пятой главе приведены алгоритм и методика оценки остаточного

ресурса оцинкованных конструкций покрытия. Алгоритм оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса, представлен на рис. 5.

Оценку остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса, выполняют по предлагаемой ниже методике.

Для оценки потери массы металла в ходе коррозии необходимо использовать математическую зависимость скорости коррозии от времени

$$K = \frac{K_0}{1 + 0,3 \cdot t^{0,5}} \quad (2)$$

Для удобства переведем массовый показатель скорости коррозии K в глубинный K_n , назовем его Δ . Тогда получаем следующую формулу

$$\Delta = \frac{K_0}{(1 + 0,3 \cdot t^{0,5}) \rho}, \quad (3)$$

где ρ - плотность материала.

Цинковое покрытие обеспечивает физическую и электрохимическую защиту стальной основы.

Суть физической защиты состоит в том, что слой цинка не допускает контакта между стальной основой и агрессивной цеховой атмосферой. Качественное цинковое покрытие имеет хорошую адгезию со стальной основой, и физическая защита работает до тех пор, пока не истончится цинковое покрытие. Исходя из этого, остаточная толщина оцинкованных конструкций покрытия будет складываться из изменения толщины Zn покрытия и стальной основы. Это можно записать в следующее уравнение

$$\Delta_{\text{ост}} = \delta_{\text{ост. Zn слоя}} + \delta_{\text{остальной основы}}; \quad (4)$$

или

$$\Delta_{\text{ост}} = (\delta_{0 \text{ Zn слоя}} - \Delta_{\text{Zn слоя}}) + \delta_{\text{стальной основы}}, \quad (5)$$

где $\delta_{0 \text{ Zn слоя}}$ - начальная толщина цинкового слоя; $\Delta_{\text{Zn слоя}}$ - истончение цинкового слоя за единицу времени; $\delta_{\text{ост Zn слоя}}$ - остаточная толщина цинкового слоя; $\delta_{\text{стальной основы}}$ - начальная толщина стальной основы.

Остаточная толщина Zn слоя определяется как изменение толщины в единицу времени относительно начальной толщины. При истощении цинкового покрытия, при котором значение начальной толщины δ_0 цинкового слоя будет стремиться $\rightarrow 0$, корродировать начинает стальная основа.

Из этого можно сделать вывод, что $\delta_{0 \text{ Zn.слоя}} - \Delta_{\text{Zn.слоя}} = 0$.

Отсюда следует, что, зная величину начальной толщины цинкового слоя, можно определить его долговечность, выраженную во времени. Это можно записать в следующую формулу

$$t_{\text{zn.слоя}} = \left(\frac{K_0}{21,42 \cdot 10^5 \cdot \delta_{0 \text{ zn}}} - 3,33 \right)^2. \quad (6)$$

Для дальнейшего этапа оценки необходимо выполнение одного из следующих условий:

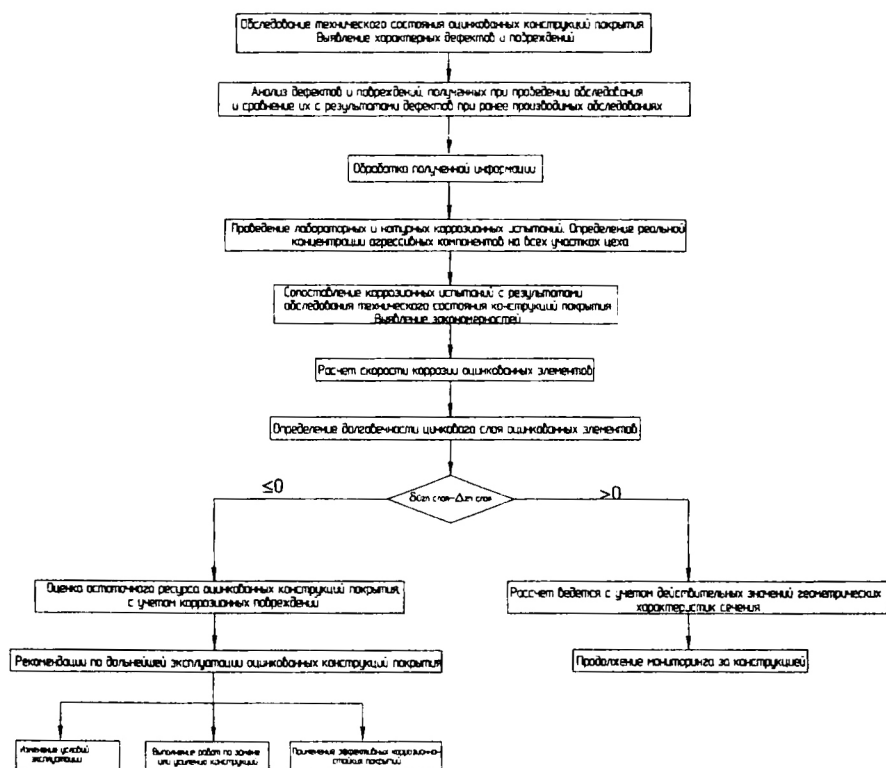


Рис.5 - Алгоритм оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах, зданий металлургического комплекса

Условие 1. Если долговечность цинкового слоя $t_{\text{зн.слой}} > 0$, то расчет остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия ведется с учетом начальных значений геометрических сечений;

Условие 2. Если долговечность цинкового слоя $t_{\text{зн.слой}} \leq 0$, то цинковый слой полностью истончился и начинает корродировать стальная основа, тогда расчет производится с учетом потери сечения элемента в ходе коррозии, и оценка остаточного ресурса ведется по предлагаемой ниже методике.

Далее, при выполнении условия 2, необходимо вычислить остаточную толщину стальной основы, также определяем ее по изменению толщины в единицу времени, и это можно выразить следующим образом

$$\delta_{\text{стальной основы}} = \delta_0_{\text{стальной основы}} - \Delta_{\text{кор}}, \quad (7)$$

где $\delta_{\text{стальной основы}}$ – толщина стальной основы на момент измерения; $\delta_0_{\text{стальной основы}}$ – начальная толщина стальной основы, тогда глубина проникновения коррозии $\Delta_{\text{кор}}$ будет определяться по формуле

$$\Delta_{\text{кор}} = \delta_0_{\text{стальной основы}} - \delta_{\text{стальной основы}}, \quad (8)$$

Для определения глубины проникновения коррозии в стальную основу была использована зависимость атмосферной коррозии от концентрации паров хлороводорода, которая была получена в работе Перекатова С.В. и описана уравнением (9), и модель скорости атмосферной коррозии стальной основы от времени, описанная уравнением (10)

$$K_0 = 1646,20 [\text{HCl}] + 422,84, \quad (9)$$

где K_0 – начальная скорость коррозии;

$$K = \frac{K_0}{1 + 0,5 \cdot t} \quad (10)$$

Тогда уравнение (8) можно записать следующим образом

$$(\delta_0_{\text{стальной основы}} - \delta_{\text{стальной основы}}) = \frac{1646,20[\text{HCl}] + 422,84}{7,8 \cdot 10^6 (1 + 0,5 \cdot t_{\text{cm}})} \Delta_{\text{кор}}, \quad (11)$$

где $7,8 \cdot 10^6$ – соответственно плотность стали в г/м^3 ; $t_{\text{ст}}$ – время эксплуатации стальной основы с «истонченным» цинковым слоем, определяемое по формуле

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{общ}} - t_{\text{zn.слоя}}, \quad (12)$$

где $t_{\text{zn.слоя}}$ – время эксплуатации цинкового покрытия до полного истончения; $t_{\text{общ}}$ – общее время эксплуатации конструкций.

При сплошной коррозии стальных элементов расчетную площадь поперечного сечения $A_{\text{эф}}$ определяют в соответствии с дополненной методикой проверочного расчета стальных конструкций, подверженных коррозионному износу, предложенной А. С. Коряковым и В. В. Филипповым по формуле

$$A_{\text{эф}}^{\text{ст}} = (1 - K_c \Delta^*) A_n, \quad (13)$$

где A_n – начальная площадь поперечного сечения элемента без учета коррозионных поражений; Δ^* – глубина проникновения коррозии, принимаемая при односторонней коррозии профилей замкнутого сечения и листовых конструкций как $\Delta^* = \Delta_{\text{ост}}$, при коррозии по всей поверхности стержневых элементов конструкций она принимается по формуле $\Delta^* = \Delta_{\text{кор}}/2$,

где $\Delta_{\text{кор}}$ – потеря толщины оцинкованных конструкций покрытия, рассчитываемая по формуле (11); K_c – коэффициент слитности сечения, равный отношению периметра к площади поперечного сечения элемента, мм^{-1} .

Приблизительно значение коэффициента K_c можно принимать:

- для уголков и профилированного листа - $2/t$,
- для замкнутых профилей - $1/t$,
- для швеллеров и двутавров - $4/(t + d)$,

где t и d – толщина полки и стенки соответственно.

Подставляя формулу (11) в формулу (13), мы получаем расчетную площадь поперечного сечения оцинкованных конструкций покрытия, подверженных равномерному коррозионному износу $A_{\text{эф}}^{\text{оц}}$:

$$A_{\text{эф}}^{\text{оч}} = [1 - K_c \left(\frac{(1646,20[HCL] + 422,84)}{7,8 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right)] \cdot A_n. \quad (14)$$

Расчет на прочность оцинкованных элементов, работающих на растяжение, при равномерном коррозионном износе, следует производить по СНиП II-23-81* со следующими дополнениями и изменениями по формуле

$$\frac{N}{[1 - K_c \left(\frac{(1646,20[HCL] + 422,84)}{7,8 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right)] \cdot A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c. \quad (15)$$

Расчет на прочность оцинкованных элементов, работающих на сжатие при равномерном коррозионном износе, следует производить по СНиП II-23-81* со следующими дополнениями и изменениями по формуле

$$\frac{N}{\varphi \cdot [1 - K_c \left(\frac{(1646,20[HCL] + 422,84)}{7,8 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right)] \cdot A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c. \quad (16)$$

Расчетный момент сопротивления для проверки прочности стальных элементов, работающих на изгиб, при сплошной коррозии допускается определять в соответствии с пособием к СНиП 2.03.11-85 по формуле

$$W_x = (1 - \Delta\psi_k) \cdot W_n, \quad (17)$$

где W_n - номинальный момент сопротивления сечения без учета коррозионных повреждений; ψ_k - коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления в одной из главных плоскостей вследствие коррозии, определяемый в соответствии с пособием к СНиП 2.03.11-85.

Расчетный момент сопротивления для проверки прочности оцинкованных элементов, работающих на изгиб, при равномерном коррозионном износе предлагается определять по формуле

$$W_x = [1 - \left(\frac{1646,20[HCL] + 422,84}{7,8 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right) \psi_k] W_n. \quad (18)$$

Расчет на прочность оцинкованных элементов, работающих на изгиб, а в частности профилированного настила, при равномерном коррозионном износе производится по СНиП II-23-81* со следующими дополнениями и изменениями по формуле

$$\sigma = \frac{M}{\left[1 - \left(\frac{1646,20[HCL] + 422,84}{7,8 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right) \cdot \psi_k \right] \cdot W_n} \leq R_y \cdot \gamma_n. \quad (19)$$

Для профилированного настила потеря несущей способности зачастую наступает вследствие потери устойчивости стенок гофра профилированного листа. Поэтому, устойчивость стенок при равномерном коррозионном износе в соответствии с методикой расчета, приведенной в СТО 0043-2005, рекомендуется проверять с учетом следующих дополнений. Устойчивость стенок гофров над средними опорами неразрезного настила высотой не более 60 мм проверяется по формуле

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right) + \left(\frac{\sigma_{lok}}{\sigma_{cr}} \right) \leq \gamma_c, \quad (20)$$

где σ - нормальное напряжение от изгиба, определяемое по формуле (19); σ_{lok} - местное напряжение от реакции средней опоры, определяемое по формуле

$$\sigma_{lok} = \frac{2B_0}{T_{ocm} \cdot z} \cdot \quad (21)$$

Здесь B_0 - опорная реакция на одну стенку гофра; z - ширина расчетного участка стенки гофра, равная $b+2r$, но не более $1,5h$; b - ширина полки прогона или другого элемента несущих конструкций покрытия, на которые опирается настил; r - радиус сопряжения стенок гофра с полками профиля; $T_{ост}$ - остаточная толщина профилированного настила с учетом коррозионного износа, определяемая по формуле

$$T_{ocm} = T_{общ} - \left(\frac{1646,20[HCl] + 422,84}{7,8 \cdot 10^6 (1 + 0,5 \cdot t_{cm})} \right), \quad (22)$$

где $T_{общ}$ - начальная толщина профилированного настила.

Нормальное критическое напряжение определяется по формуле

$$\sigma_0 = k_0 \cdot k_{01} \cdot \left(\frac{1000 \cdot T_{ocm}}{h_0} \right)^2, \quad (23)$$

где k_0 - коэффициент, зависящий от характера напряжений в участке и принимаемый по СТО 0043-2005; $h_0 = h - 2(r + T_{ост})$ - расчетная высота гофра; k_{01} - коэффициент определяемый по формуле

$$k_{01} = 0,9 - 0,2 \cdot \frac{T_{ocm}}{h} \left(1 - 2,45 \cdot \frac{z}{h} \right). \quad (24)$$

Местное критическое напряжение σ_{cr} определяется по формуле

$$\sigma_{cr} = A \kappa \sqrt{R_y}, \quad (25)$$

где κ и A , коэффициенты принимаемые в соответствии с СТО0043-2005.

В шестой главе рассмотрены экономические аспекты. Произведен расчет суммарных затрат на ремонтно-восстановительные работы по замене профилированного листа покрытия в агрессивных газозооушных средах с толщиной цинкового слоя 18 и 25 мкм.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В работе выполнен системный анализ современных представлений о долговечности металлических конструкций цехов листопрокатного цикла металлургического комплекса. Установлено, что наиболее повреждаемым элементом для данных цехов являются несущие кровельные ограждающие конструкции покрытия.

2. Установлены конструктивные решения несущих кровельных ограждающих конструкций покрытий. Выявлено, что наиболее распространенным конструктивным решением кровельных ограждающих конструкций покрытия для данных цехов является оцинкованный профилированный настил, количество которого для цехов ПХПП и ПДС составляет 10749 участков. Раскладка выполнена листами типа Н60-845-0,9 и Н80-674-1,0 (в местах снеговых мешков) по ГОСТ 24025-80.

3. В результате оценки технического состояния оцинкованного профилированного настила покрытия были классифицированы его дефекты и повреждения. Установлено, что они делятся на две группы:

1) дефекты, вызванные низким уровнем выполнения строительно-монтажных работ – 12% (местное смятие, выгибы, вырезы и т.п.);

2) коррозионный износ конструкций, провоцирующийся сильноагрессивной газовой средой и влажным режимом эксплуатации – 88%.

4. В ходе технического освидетельствования было обследовано 3345 участков профилированного настила покрытия и установлено, что наиболее распространенным дефектом является равномерный коррозионный износ, который составляет 40,00% от общего числа дефектов, провоцируемых влиянием агрессивной технологической среды.

5. Для оценки степени влияния агрессивной среды на состояние оцинкованных конструкций покрытия выбраны методы оценки коррозионного разрушения оцинкованных металлических конструкций: испытания на атмосферную коррозию и ускоренные электрохимические испытания. Экспериментально разработана собственная конструкция стенов для испытаний на атмосферную коррозию и рассчитана оптимальная продолжительность испытаний - 275 суток.

6. На основании коррозионных стеновых испытаний определена скорость коррозии, установлены ее максимальные и минимальные значения. Экспериментально получена математическая зависимость массового показателя скорости коррозии от времени с учетом коэффициентов. Исходя из результатов стеновых испытаний, $\alpha = 0,3$, а $\beta = 0,5$. Экспериментально выявлена роль вентиляционных потоков и показано их влияние на коррозионное разрушение, а также выявлено распределение агрессивных компонентов с учетом особенностей технологического процесса.

7. Экспериментально разработана математическая зависимость долговечности цинкового слоя оцинкованных конструкций от времени эксплуатации с учетом особенностей технологического процесса.

8. Разработана методика оценки остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах зданий металлургического комплекса.

9. Выполнен анализ работы профилированного настила покрытия с наиболее характерными схемами работы. Выявлены области истощения несущей способности профилированного настила покрытия в результате коррозионного износа, определяемые условиями прочности или устойчивости. Предложены критерии замены профилированного настила покрытия, эксплуатирующегося в агрессивных газовых средах:

1) равномерный коррозионный износ, распределенный по всей поверхности профилированного листа;

2) скопление коррозионных повреждений в зонах максимального момента.

10. Проведен экономический анализ эксплуатационных затрат. Показано,

что суммарная стоимость материалов и ремонтно-восстановительных работ по замене профилированного настила покрытия с толщиной цинкового слоя не менее 25 мкм на участках с повышенным выделением хлороводорода за промежутков, равный 8 годам, в 1,86 раза ниже, чем листа с толщиной цинкового слоя 18 мкм.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

Статьи в изданиях, входящих в перечень, определенный ВАК РФ:

1. Михайлов, В.В. Исследование коррозионной стойкости конструкций покрытия цехов холодного проката стали [Текст] / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов, О.И. Лифинцев // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Стр-во и архит.» – 2007. – № 7(26). – С. 28 – 32. Лично автором выполнено 3 с.

2. Михайлов, В.В. Оценка остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия прокатных цехов основного производства ОАО «НЛМК» [Текст] / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Научн. Вестник Воронежского архитектурно-строительного университета. – 2008. - №1(9) – С. 61 – 66. Лично автором выполнено 4 с.

Статьи в сборниках трудов, конференций:

3. Колобанов, А.С. Прогнозирование долговечности конструкций покрытия металлургических производств [Текст] / А.С. Колобанов // Сб. докл. научн.- практ. конф. аспирантов и студентов инженерно-строительного факультета ЛГТУ. Апрель 2005 г. – Липецк, 2005. – С. 44. Лично автором выполнено 1 с.

4. Перекатов, С.В. Прогнозирование долговечности конструкций каркаса металлургических производств [Текст] / С.В. Перекатов, В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Строительство-2005: Июнь 2005 г.: сб. междунар. научн.-практ. конф., посвященной 60-летию победы в великой отечественной войне 1941-1945 г. – Ростов, 2005. – С. 50 – 52. Лично автором выполнено 1 с.

5. Михайлов, В.В. Оценка коррозионной стойкости строительных металлоконструкций в цехах холодной прокатки [Текст] / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре : сб. ст. науч.-практ. конф., посвящается 50-летию ЛГТУ. – Липецк, 2006. - С. 80 – 86. Лично автором выполнено 5 с.

6. Бондарев, Б.А. Прогнозирование долговечности профилированного листа в условиях атмосферы цеха холодного проката ОАО «НЛМК» [Текст] / Б.А. Бондарев, С.Н. Салтыков, А.С. Колобанов // Концептуальные вопросы современного градостроительства : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 10-летию создания кафедры «Городское строительство и хозяйство» ВГАСУ, Март 2007 г. – Воронеж, 2007. - С. 82 – 89. Лично автором выполнено 6с.

7. Колобанов, А.С. Исследование электрохимического поведения стали с цинковым покрытием для прогнозирования скорости его разрушения в условиях травильного отделения прокатных производств [Текст] /

А.С. Колобанов, В.В. Михайлов // Сб. тез. докл. научн. конф. студентов и аспирантов ЛГТУ. Апрель 2007 г. – Липецк, 2007. – С. 41. Лично автором выполнено 1с.

8. Колобанов, А.С. Оценка надежности и долговечности композиционных материалов металлических конструкций покрытия промышленных цехов металлургического комплекса [Текст] / А.С. Колобанов // Композиционные строительные материалы, теория и практика. Март 2007 г. : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2007. – С. 35 – 37. Лично автором выполнено 2с.

9. Бондарев, Б.А. Оценка надежности и прогнозирование долговечности конструкций покрытия промышленных цехов металлургического комплекса на примере ОАО «НЛМК» [Текст] / Б.А. Бондарев, А.С. Колобанов // Надежность строительных объектов : сб. ст. X-й науч.-техн. конф., 5 – 7 сент. 2007 г. – Самара, 2007. – С. 26 – 31. Лично автором выполнено 4 с.

10. Колобанов, А.С. Прогнозирование долговечности оцинкованных конструкций покрытия прокатных производств металлургического комплекса [Текст] / А.С. Колобанов, Е.В. Кукуев, В.В. Михайлов // сб. докл. научн. конф. студентов и аспирантов ЛГТУ. Апрель 2008 г. – Липецк, 2008. – С. 82. Лично автором выполнено 1 с.

11. Михайлов, В.В. О несущей способности оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах [Текст] / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Наука и инновации в строительстве. Оценка риска и безопасность в строительстве. Ноябрь 2008 г.: междунар. конгр. – SIB – 2008 – Т. 3. – Воронеж, 2008. – С. 256 – 261. Лично автором выполнено 4 с.

12. Колобанов А.С. Прогнозирование долговечности цинкового слоя профилированного листа покрытия, работающего в хлороводородсодержащей среде [Текст] / А.С. Колобанов, С.В. Третьякова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика. Дек. 2008 г. : сб. ст. VIII междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2008. – С. 104 – 105. Лично автором выполнено 2 с.

Колобанов Алексей Сергеевич

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОЦИНКОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ЦЕХОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано в печать 11.02.2009. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Ризография. Тираж 100 экз.
Заказ № 735. Издательство Липецкого государственного технического университета. Полиграфическое
подразделение Издательства ЛГТУ. 398600 г. Липецк, ул. Московская, 30.